

印度洋西北海域鸢乌贼角质颚长度分析

刘必林^{1,2,3} 陈新军^{1,2,3*}

(¹ 上海海洋大学海洋科学学院, 201306 上海;

² 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海海洋大学, 201306 上海;

³ 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海海洋大学, 201306 上海)

摘要: 根据 2004-2005 年我国鱿钓渔船对印度洋西北海域鸢乌贼资源调查期间采集的 103 个鸢乌贼角质颚和 60 枚耳石样本, 分析了角质颚长度特征, 并与鸢乌贼胴长、体重和日龄建立了关系。结果显示: 角质颚长度与胴长呈极显著的线性相关, 与体重呈极显著的指数相关。角质颚各部长随着鸢乌贼日龄增加逐步增大, 上、下颚头盖和脊突生长较快, 喙部和翼部生长较慢; 上颚头盖和脊突较下颚头盖和脊突生长快。上颚翼部呈幂函数生长, 上、下颚其余各部均呈线性生长。研究结果为以后印度洋海域鸢乌贼资源量的估算提供基础资料。

关键词: 角质颚; 耳石; 鸢乌贼; 印度洋西北海域;

中图分类号: S 931 **文献标识码:** A **文章编号**

Beak length analysis of the purpleback flying squid *Stheno euthis oualaniensis* in northwest Indian Ocean

LIU Bi-lin^{1,2,3}, CHEN Xin-jun^{1,2,3*}

(¹ College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

(² The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, 201306)

(³ The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, 201306)

ABSTRACT The beak length and its relationship with mantle length, body weight as well as age were studied based on 103 beak and 60 statolith specimen of the purpleback flying squid which were collected during angling surveys in northwest Indian Ocean from October to December, 2004 and in April, 2005. The results indicated that the beak dimensions were best described by linear functions with mantle length but showed positive exponential correlation with body weight. With the squid ontogenetic growth, size of each part of the beak became larger. hood and crest grew faster but rostrum and wing grew slower. Hood and crest of the upper beak grew faster than that of the lower beak. Dimensions of each part were best described by linear functions with age except for the wing of upper beak which fitted exponential function. The results provided basic data for the resources estimation of *Stheno euthis oualaniensis*.

KEY WORDS Beak Statolith *Stheno euthis oualaniensis* Waters of northwest Indian Ocean

鸢乌贼 *Stheno euthis oualaniensis* 广泛分布于印度洋、太平洋的赤道和亚热带海域, 其中在南海和印度洋西北部分布数量较大(陈新军等 2009)。该种类的种群结构复杂, 生命周期约为 1 年(陈新军等 2009)。我国鱿钓渔船于 2003-2005 年对印度洋西北海域鸢乌贼资源进行了开发, 并取得了一些研究成果, 初步掌握该海域资源分布、生物学特性和渔场特征等(刘

国家自然科学基金(NSFC40876090), 曙光计划跟踪项目(08GG14), 上海市教委优秀青年基金(B-8101-080-0024)和上海市捕捞学重点学科(S30702)资助

*通讯作者。E-mail: xjchen@shou.edu.cn, Tel: (021)61900306

收稿日期: ; 接受日期:

作者简介: 刘必林(1980-), 男, 助理工程师, 主要从事海洋生物学和头足类的研究。E-mail: bl-liu@shou.edu.cn, Tel: (021)61900346

必林等 2008；Chen et al. 2007；叶旭昌等 2004；田思泉等 2004）。角质颚具有形态稳定、耐腐蚀、储存信息良好的特点，是研究头足类生物学的重要方法之一（刘必林等 2009）。自 Clark 于 1962 年首先描述头足类角质颚的形态特征以来，其研究愈来愈受到重视。通过角质颚长度、生长纹、色素沉着等方面的分析，可对头足类进行种类鉴定、群体划分、食性分析、资源评估以及年龄和生长的估算（刘必林等 2009）。其中对角质颚长度的分析是各项研究的基础，迄今为止，已有乳光枪乌贼 *Doryteuthis opalescens* (Kashiwada et al. 1979)、双柔鱼 *Nototodarús sloanii* (Jackson et al. 1996)、短柔鱼 *Todaropsis eblanae* (Hernández-García et al. 1998)、寒海乌贼 *Psychroteuthis glacialis* (Gröger et al. 2000)、强壮桑椹乌贼 *Moroteuthis ingens* (Jackson et al. 1997) 等柔鱼类角质颚的生长得到了研究。然而，国内外未就印度洋西北海域鸢乌贼角质颚开展相关研究，为此，本文将根据 2004~2005 年我国鱿钓船在印度洋西北海域鸢乌贼资源调查期间采集的样本，分析印度洋西北海域鸢乌贼角质颚的长度特征，为该海域头足类角质颚分类以及食物网中高级捕食动物饵料的分析积累资料；同时建立其角质颚长度与鸢乌贼日龄、胴长和体重的关系方程，为研究鸢乌贼生长以及资源量评估提供新方法。

1. 材料和方法

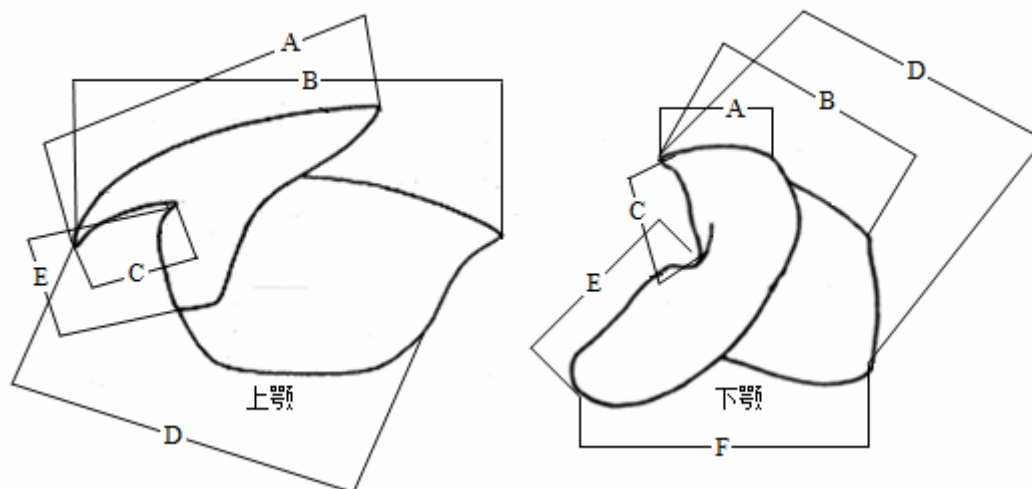
1.1. 材料来源

样本采集时间为 2004 年 10~12 月和 2005 年 4 月；采集海域为 59°30'~64°00'E、13°00'~20°00'N。共获得 104 尾（胴长范围 142~525 mm）鸢乌贼的角质颚样本，并成功提取其中 60 尾（胴长范围 142~525 mm）的耳石样本。

1.2. 研究方法

1.2.1 角质颚长度测量

样本实验室解冻，利用米尺测量胴长（精度 1 cm），电子天平称重（精度 1 g），并用镊子取出角质颚，放入 75% 的酒精中保存，采用游标卡尺（精度 0.01 mm）对角质颚形态进行测量。角质颚由上颚（Upper beak）和下颚（Lower beak）两部分组成，两者均包括喙部、头盖、脊突、翼部、侧壁等部分。主要形态参数有（陈新军等 2009）：头盖长（Hood length, HL），即为喙顶端至头盖后缘末端长；脊突长（Crest length, CL），即为喙顶端至脊突后缘末端长；喙长（Rostrum length, RL），即为喙顶端至颚角末端长；侧壁长（Lateral wall length, LWL），即为喙顶端至侧壁后缘末端长；翼长（Wing length, WL），即为颚角至翼部前缘末端长；基线长（Base length, BL），即为翼部末端后缘至侧壁末端前缘（图 1）。



A. 头盖长；B. 脊突长；C. 喙长；D. 侧壁长；E. 翼长；F. 基线长

图 1 角质颚形态参数示意图

A- Hood length (HL); B- Crest length (CL); C- Rostrum length (RL); D- Lateral wall length (LWL); E- Wing length (WL); F- Base length (BL)

Fig.1 Scheme of morphometric measurements of the beak

1.2.2 耳石切片制备与日龄读取

耳石置于二甲苯和 75% 的酒精中浸泡 1 分钟后晾干，然后用约 10ml 环氧树脂和固化剂包埋。包埋后的耳石块放置 24 小时后待其硬化，然后胶于载玻片上，再分别用 240、600、1200、2000grits 水磨砂纸沿纵轴方向两面研磨至核心，最后用 0.3 μ m 氧化铝粉抛光（刘必林 2006）。研磨好的耳石切片置于 $\times 400$ 的光学显微镜下采用 CCD（连接装置）拍照，并运用 PhotoShop7.0 对图象进行叠加处理（图 2）。计数过程中，每个耳石轮纹由两个不同的人计数，每次计数的轮纹数目与均值的差值低于 10%，则认为计数准确。计数由核心开始，至背区边缘结束，边缘不清晰处的轮纹根据最后一条清晰轮纹的宽度来推算。

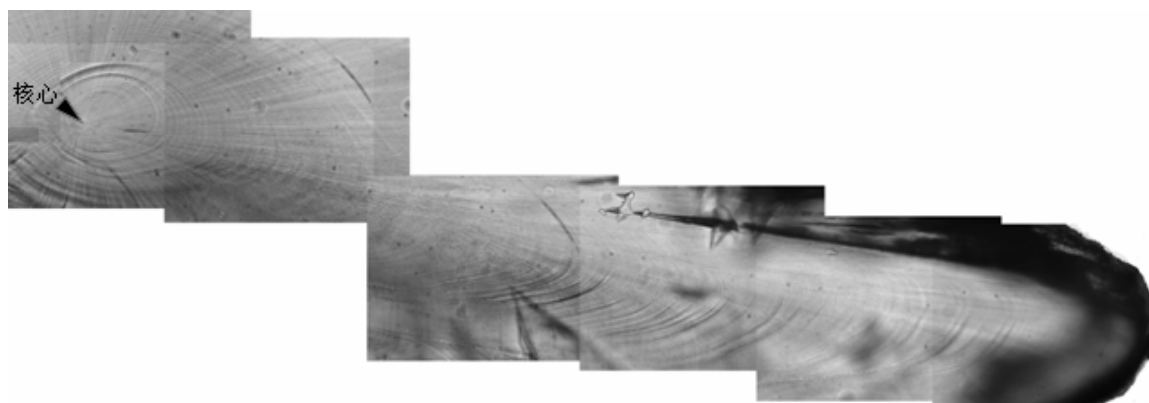


图 2 研磨后耳石背区叠加图（雌性，胴长 385 mm，体重 1540 g，日龄 242 d）

Fig. 2 Dorsal dome of one ground statolith of *Stheno euthis. oualaniensis* (female, 525mm ML, 5142g BW, 231days) showing a composite of six reading frames in increments

1.2.2 数据处理

(1) 利用线性模型来描述角质颚 11 个长度指标与胴长之间的关系^[8]，并选择统计显著的角质颚长度指标。

(2) 分析角质颚长度与胴长和体重关系，并根据日龄数据建立角质颚各部生长方程。

2. 结果

2.1 角质颚长度特征

经测定，鸢乌贼角质颚长度指标值分别如下：URL 为 3.33-12.92 mm，UHL 为 11.0-35.56 mm，UCL 为 13.31-50.77 mm，UWL 为 3.38-12.64 mm 为，ULWL 为 10.41-45.33 mm；LRL 为 2.96-11.71 mm，LHL 为 3.37-10.27 mm，LCL 为 6.35-24.10 mm，LWL 为 5.46-22.10 mm，LLWL 为 9.43-34.44 mm，BL 为 7.96-27.70 mm。分析表明，角质颚长度与胴长均呈显著的线性相关（ $P < 0.0001$ ）。

2.2 角质颚长度与胴长和体重的关系

分析表明，上颚的 UHL、UCL、URL、ULWL，以及下颚的 LLWL、LWL 与胴长 ML 之间呈极显著的线性关系（ $P < 0.0001$ ），其关系式如下：

$$ML = 13.302 \times UHL + 5.6945 \quad (R^2 = 0.922, n = 103) \quad (\text{图 1A})$$

$$ML = 10.5 \times UCL + 5.1979 \quad (R^2 = 0.952, n = 103) \quad (\text{图 1B})$$

$$ML = 38.319 \times UCL + 23.618 \quad (R^2 = 0.924, n = 103) \quad (\text{图 1C})$$

$$ML = 11.709 \times ULWL + 23.71 \quad (R^2 = 0.951, n = 103) \quad (\text{图 1D})$$

$$ML = 13.902 \times LLWL + 20.397 \quad (R^2 = 0.927, n = 103) \quad (\text{图 1E})$$

$$ML = 24.774 \times LWL + 22.773 \quad (R^2 = 0.929, n = 103) \quad (\text{图 1F})$$

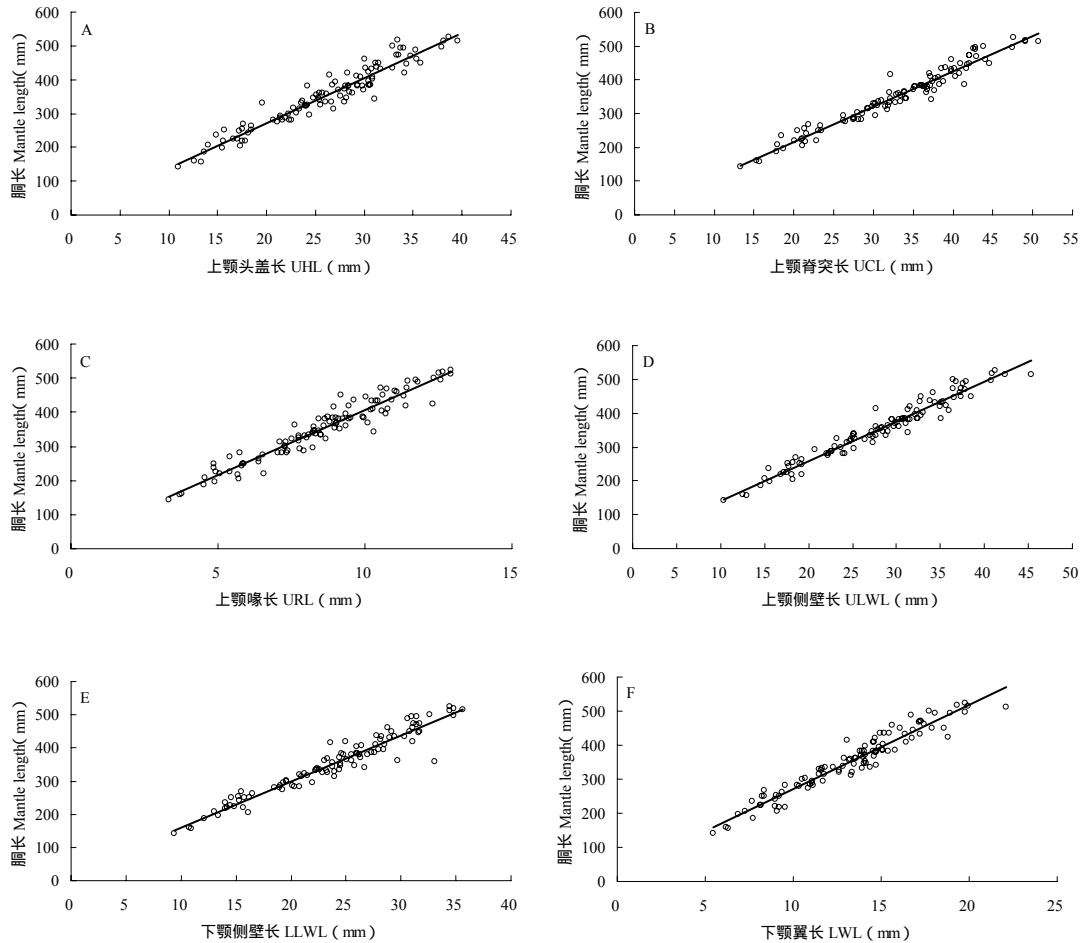


图 3 鸢乌贼胴长与主要角质颚长度指标关系

Fig.3 Relationships between mantle length and main beak dimensions of *Stheno euthis oualaniensis*

分析还表明，上颚的 UHL、UCL、URL、ULWL，以及下颚的 LLWL、LWL 与体重之间呈极显著的指数关系 ($P < 0.0001$)，其关系式如下：

$$BW = 33.887 \times e^{0.1317 \times UCL} \quad (R^2 = 0.929, n = 103) \quad (\text{图 2A})$$

$$BW = 38.97 \times e^{0.1037 \times UCL} \quad (R^2 = 0.956, n = 103) \quad (\text{图 2B})$$

$$BW = 47.06 \times e^{0.3777 \times UCL} \quad (R^2 = 0.924, n = 103) \quad (\text{图 2C})$$

$$BW = 46.732 \times e^{0.1157 \times ULWL} \quad (R^2 = 0.955, n = 103) \quad (\text{图 2D})$$

$$BW = 45.436 \times e^{0.1372 \times LLWL} \quad (R^2 = 0.929, n = 103) \quad (\text{图 2E})$$

$$BW = 46.536 \times e^{0.2444 \times LWL} \quad (R^2 = 0.931, n = 103) \quad (\text{图 2F})$$

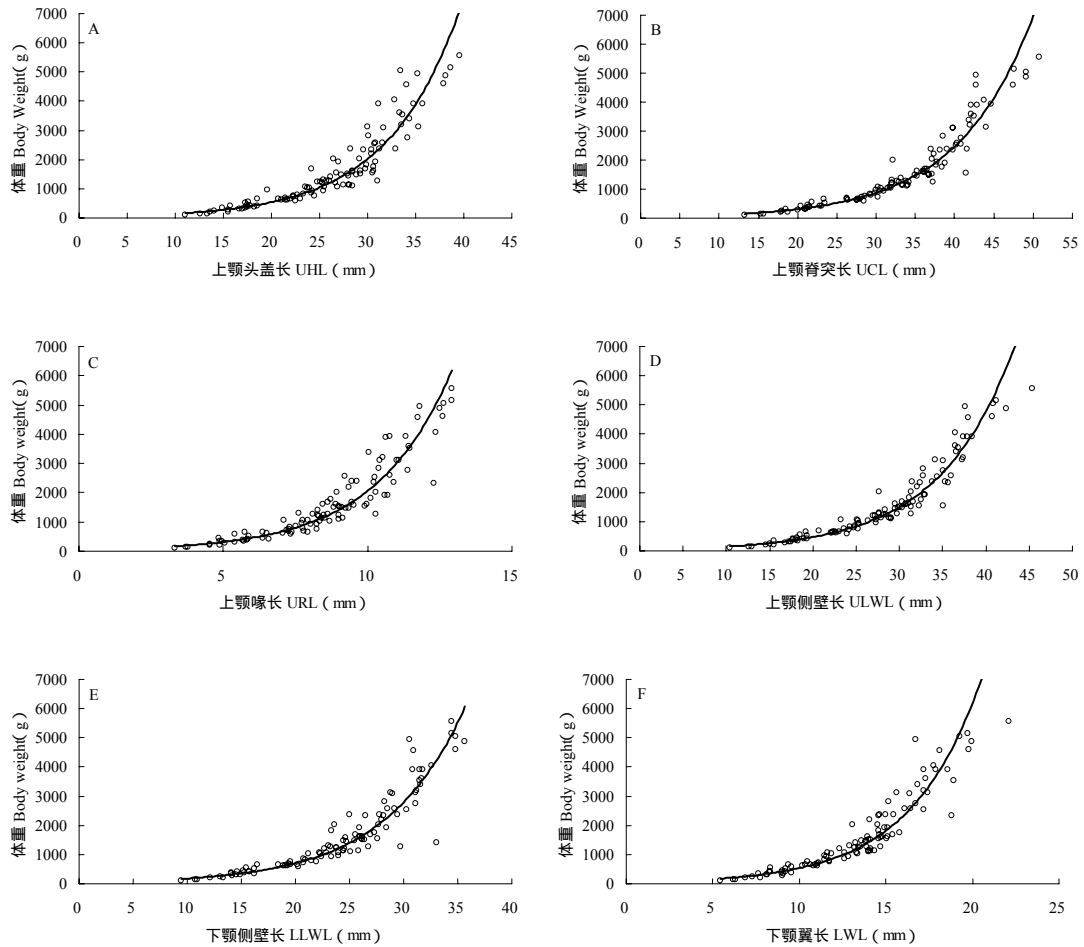


图 4 鸢乌贼体重与主要角质颚长度指标关系

Fig.4 Relationships between body weight and main beak dimensions for *Stheno euthis oualaniensis*

2.3 角质颚各部生长

对 60 尾胴长范围 142-525 mm、体重范围 100.5-5564.1g 的鸢乌贼耳石轮纹进行日龄鉴定,分析表明其样本的日龄范围为 88-297 d。随着鸢乌贼日龄增加,角质颚各部长度逐渐增大。日龄最小样本的上颚头盖部长 11.00 mm、脊突长 13.31 mm、喙部长 3.33 mm、翼部长 3.38 mm,下颚头盖部长 3.37 mm、脊突长 6.35 mm、喙部长 2.96mm、翼部长 5.46;日龄最大样本的头盖部长 39.56 mm、脊突长 50.77 mm、喙部长 12.92 mm、翼部长 12.36 mm,下颚头盖部长 10.27 mm、脊突长 24.10 mm、喙部长 11.71mm、翼部长 22.10。

分析表明,下颚头盖部、脊突部、喙部和翼部均呈线性生长 ($P < 0.0001$) (图 3A-D);上颚头盖部、脊突部和喙部也呈线性生长 ($P < 0.0001$) (图 3A-C),而翼部则呈幂函数生长 ($P < 0.0001$) (图 3D)。由斜率分析可看出鸢乌贼上、下颚头盖部和脊突部较喙部和翼部生长快;上、下颚对比分析显示,上颚脊突部和喙部较下颚脊突部和喙部的生长快,而喙部和翼部的生长两者相当 (图 3)。

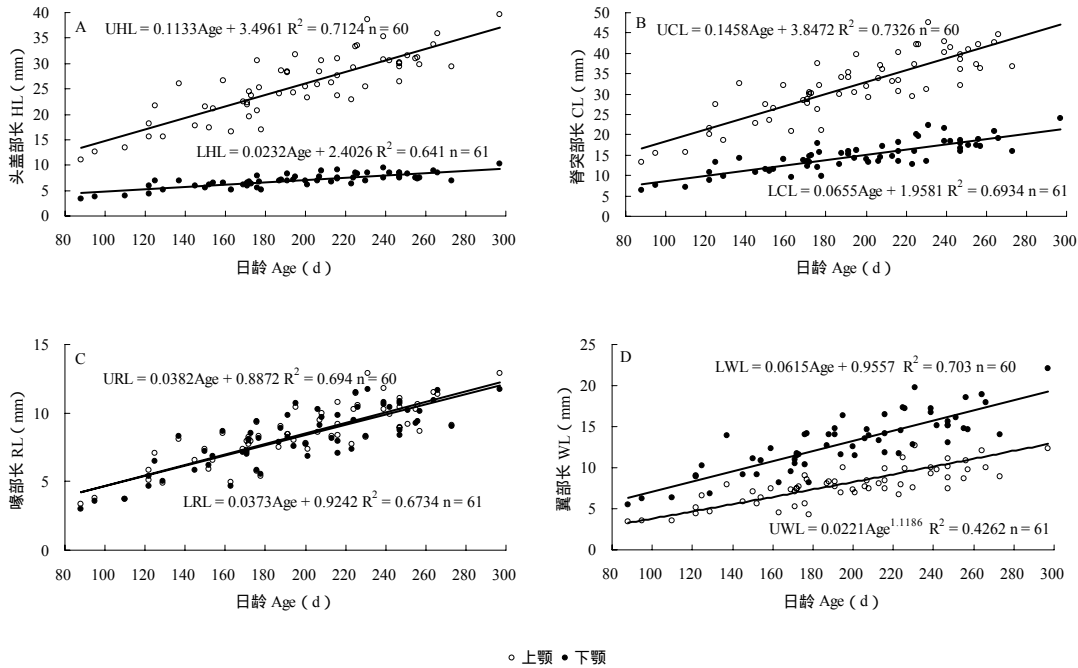


图 5 鸢乌贼主要角质颌各部长度与日龄关系

Fig.5 Relationships between dimensions of each part of beak and age of *Sthenoethis oualaniensis*

3 讨论与分析

3.1 角质颌长度估算资源量可行性

头足类是鲸、海豹、海豚等海洋哺乳动物，金枪鱼、鲨鱼、箭鱼等大型鱼类以及海鸟的重要食物（刘必林等 2009）。通过对捕食动物胃中角质颌的分析，可估算头足类的资源量，其估算过程通常分为三步：首先对角质颌形态进行鉴定以确定头足类的种类；第二步，根据角质颌径向测量值与胴长和体重的关系方程来确定消耗的头足类量，据此推算某个时期内总消耗量；第三步，根据捕食动物的资源量以及各种头足类在其胃含物中所占比例推算某种头足类的资源总量。Jackson（1995）根据角质颌长度估算了新西兰水域强壮桑椹乌贼的资源量，Gröger等（2000）证实了寒海乌贼角质颌长度估算其资源量的可行性。虽然相关研究不多，但是随着各大洋及各海区头足类角质颌形态特征检索库的不断建立（Jackson 1995；Wolff 1984；Kubodera 2001；Lu et al. 2002），运用角质颌估算头足类的资源量仍值得期待。

生活于印度洋的鸢乌贼是留尼汪圆尾鹱 *Pterodroma barau* 和白尾鹳 *Phaethon lepturus* 等海鸟 (Kojadinovic et al. 2007)，黄鳍金枪鱼 *Thunnus albacares* 和剑鱼 *Xiphias gladius* 等鱼类 (Potier et al. 2007) 的主要食饵，因此本研究所建立的角质颌长度指标与胴长和体重的关系，可为今后印度洋海区鸢乌贼资源量的估算提供基础资料。

3.2 鸢乌贼角质颌长度与生长

鸢乌贼分布于太平洋和印度洋，太平洋海域鸢乌贼角质颌的长度特征已有研究 (Wolff 1982, 1984；Kubodera 2001)，而关于印度洋鸢乌贼的角质颌没有报道。西北太平洋鸢乌贼角质颌下颚喙长与胴长呈线性相关，其方程为 $ML = 45.119 \times LRL - 37.8349$ (Kubodera 2001)；东热带太平洋鸢乌贼角质颌下颚 LRL 和 LLWL 与胴长和体重方程分别为 $ML = 392.5 \times LRL + 6.98$ ， $ML = 115.4 \times LLWL - 11.9$ ， $\ln BW = 3.0 \times \ln LRL + 7.8$ ， $\ln BW = 3.2 \times \ln LLWL + 4.7$ (Wolff 1982)。本文研究显示印度洋西北海域鸢乌贼角质颌上、下颚长度指标与胴长和体重相关性极显著，相关系数达到 0.9 以上。分别对比太平洋、印度洋 LLWL 与胴长和

体重关系发现其关系式均存在较大差异,因此不同海域的鸢乌贼角质颚特征可能不同,但由于前人的研究缺乏角质颚其它长度数据,故无法与本文做更细致的比较。

鸢乌贼角质颚各部与其日龄呈明显的线性增长(除上颚翼部),而从斜率分析发现角质各部生长存在一定差异,上、下颚头盖部和脊突部较喙部和翼部生长快;上颚脊突部和喙部较下颚脊突部和喙部的生长快,而喙部和翼部的生长两者相当。

3.3 本研究的不足

由于本研究样本为鱿鱼钓钩机捕获,因此缺乏胴长小于 150 mm 的幼年期个体,这可能给鸢乌贼整个生命周期内角质颚生长的研究带来一定的偏差。此外,用于研究的角质颚样本尤其用于鉴定年龄的耳石样本较少,需要在以后的调查和生产过程中给予补充。尽管如此,从耳石确定的年龄组成分析可得鸢乌贼生命周期约为 1 年,并结合捕捞日期推算其孵化期主要在春季的 3-5 月,这与刘必林(2006)的研究结果相符。

参考文献:

- 叶旭昌, 陈新军. 2004. 印度洋西北海域鸢乌贼生物学特性初步研究. 上海水产大学学报, 13(4): 316~322
- 田思泉, 钱卫国, 陈新军. 2004. 印度洋西北部海域鸢乌贼渔获量、渔获率和脱钩率的初步研究. 上海水产大学学报, 13(3): 224~229
- 刘必林. 2006. 利用耳石微结构研究印度洋西北海域鸢乌贼的年龄和生长. 上海: 上海水产大学.
- 刘必林, 陈新军, 钟俊生. 2008. 印度洋西北海域鸢乌贼耳石的形态特征分析. 上海水产大学学报, 17(5): 604~609.
- 刘必林, 陈新军. 2009. 头足类角质颚的研究进展. 水产学报, 33(1): 157~164.
- 陈新军, 刘必林, 王尧耕编著. 2009. 世界头足类. 北京: 海洋出版社. pp714.
- Chen, X. J., Liu, B. L., Tian, S. Q., Qian, W. G and Zhao, X. H. 2007. Fishery biology of purpleback squid, *Sthenoteuthis oualaniensis*, in the northwest Indian Ocean. Fisheries Research, 83(1): 98~104.
- Clarke, M. R. 1962. The identification of cephalopod "beaks" and the relationship between beak size and total body weight. Bulletin of the British Museum of Natural History, Zoology, 8: 419~480
- Gröger, J., Piatkowski, U. and Heinemann, H. 2000. Beak length analysis of the Southern Ocean squid *Psychroteuthis glacialis* (Cephalopoda: Psychroteuthidae) and its use for size and biomass estimation. Polar Biology, 23: 70~74
- Hernández-García V., Piatkowski U. and Clarke M. R. 1998. Development of the darkening of the *Todarodes sagittatus* beaks and its relation to growth and reproduction. South Africa Journal of Marine Science, 20: 363~373
- Jackson G. D. 1995. The use of beaks as tools for biomass estimation in the deepwater squid *Moroteuthis ingens* (Cephalopoda: Onychoteuthidae) in New Zealand waters. Polar Biology, 15: 9~14
- Jackson G. D. and McKinnon J. F. 1996. Beak length analysis of arrow squid *Nototodaros sloanii* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in southern New Zealand waters. Polar Biology, 16: 227~230
- Jackson G. D., Buxton N. G. and George M. J. A. 1997. Beak length analysis of *Moroteuthis ingens* (Cephalopoda: Onychoteuthidae) from the Falkland Islands region of the Patagonian shelf. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 77 (4): 1235~1238
- Kashiwada J., Recksiek C. W. and Karpov K. A. 1979. Beaks of the market squid, *Loligo opalescens*, as tools for predators studies. CalCOFI Rep, XX: 65~69

- Kojadinovic J., Corre M. L., Cosson R P. and, Bustamante P. 2007. Trace elements in three marine birds breeding on reunion island (western Indian Ocean) Part 1: factors influencing their bioaccumulation. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 52: 418~430
- Kubodera T. 2001. Manual for the identification of Cephalopod beaks in the Northwest Pacific. [2008-11-20]. <http://research.kahaku.go.jp>.
- Lu C. C. and Ickeringill R. 2002. Cephalopod beak identification and biomass estimation techniques: tools for dietary studies of southern Australian finfishes. Museum Victoria Science Reports, 6: 1~65
- Potier M., Marsac F., Cherel. Y., Lucas V., Sabatié^e R., Maury O. and Ménard F. 2007. Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancetfish, swordfish and yellowfin tuna) in the western equatorial Indian Ocean. Fisheries Research, 83: 60~72
- Wolff G. A. 1982. A beak key for eight eastern tropical Pacific cephalopod species with relationships between their beak dimensions and size. Fisheries Bulletin, 80(2): 357~370
- Wolff G. A. 1984. Identification and estimation of size from the beaks of 18 species of cephalopods from the Pacific Ocean. NOAA Technical Report NMFS 17: 1~50